

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

⑤1

Int. Cl. 2:

G 02 B 21/14

1/6

①9 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



cited in the European Search
Report of EP 10 6833.5
Your Ref.: FP01-0008-00 EP-SC

DT 26 34 832 A 1

①1

Offenlegungsschrift 26 34 832

②1

Aktenzeichen:

P 26 34 832.3

②2

Anmeldetag:

3. 8. 76

③3

Offenlegungstag:

24. 2. 77

③0

Unionspriorität:

③2 ③3 ③1

14. 8. 75 Niederlande 7509671

⑤4

Bezeichnung:

Lichtmikroskop

⑦1

Anmelder:

N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven (Niederlande)

⑦4

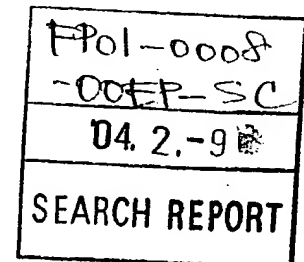
Vertreter:

Scholz, H., Dr., Pat.-Anw., 2000 Hamburg

⑦2

Erfinder:

Lang, Hendrik de; Dekkers, Nicolaas Henricus;
Eindhoven (Niederlande)



DT 26 34 832 A 1

2634832

Date: 11/11/1964
 File No: 100-104100-1000
 Page: 1000

31.5.76.

- 2 -

2634832

zweites Element angeordnet ist, wobei die gesonderten Gebiete des ersten Elements optisch mit den gesonderten Gebieten des zweiten Elements konjugiert sind.

Ein derartiges Mikroskop kann zum Sichtbarmachen von Phasenstrukturen verwendet werden, wie u.a. in der US-PS 2 516 905 beschrieben ist. Nach der Theorie von Abbe wird die Abbildung des Objekts durch Interferenz der vom Objekt gebeugten Bündel (höherer Ordnungen) mit dem ungebeugten Bündel (nullter Ordnung) erhalten. Zwischen dem Bündel nullter Ordnung einerseits und den Bündeln höherer Ordnungen andererseits kann (nach Zernike) ein zusätzlicher Phasenunterschied eingeführt werden. Dadurch wird die Phasenstruktur des Objekts in eine sichtbare Intensitätsstruktur in der Abbildung dieses Objekts umgewandelt.

In dem Mikroskop nach der US-PS 2 516 905 ist eine Blende mit ringförmiger Oeffnung in oder nahe bei der Gegenstandsebene des Kondensorsystems angeordnet. Diese Blende wird vom Kondensorsystem und vom Objektivsystem in oder nahe bei der hinteren Brennebene des Objektivsystems abgebildet. Dort ist ein zusammengesetzter Polarisator angebracht, der aus einem mittleren runden Gebiet und einem dieses Gebiet umgebenden ringförmigen Gebiet besteht. Die Gebiete weisen vorzugsweise zueinander senkrechte Polarisationsrichtungen auf. Das mittlere

709808/0342

ORIGINAL INSPECTED

runde Gebiet wird vom Bündel nullter Ordnung durchlaufen, während das ringförmige Gebiet nur von gebeugten Bündeln durchlaufen wird. Das Bündel nullter Ordnung erhält dann eine andere Polarisationsrichtung als diese gebeugten Bündel. Mit Hilfe einer hinter dem zusammengesetzten Polarisator angeordneten einstellbaren Platte aus doppelbrechendem Material kann der Phasenunterschied zwischen dem Bündel nullter Ordnung und den gebeugten Bündeln eingestellt werden. In der bekannten Vorrichtung wird nur eine ringförmige Zone der Pupille des optischen Systems, das durch das Kondensorsystem und das Objektivsystem gebildet wird, ausgefüllt, was zu einer grösseren Tiefenschärfe und also zu einer weniger günstigen Tiefendiskrimination führt.

Die vorliegende Erfindung bezweckt, ein Mikroskop, insbesondere zur Wiedergabe eines Phasenobjekts in differenzierter Form zu schaffen, das diesen Nachteil nicht aufweist, einen einfachen Aufbau besitzt und sich leicht einstellen lässt. Das Mikroskop nach der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass jedes der Gebiete des zweiten Elements in dem Wege sowohl vom Objekt gebeugten Lichtes als auch ungebeugten Lichtes angeordnet ist.

Der Hauptgedanke, auf der die Erfindung basiert, ist, das Beleuchtungsbündel in zwei Teilbündel mit verschiedenen Polarisationszuständen zu spalten, welche Teilbündel zusammen die ganze Pupille des durch das

709808/0342

Kondensorsystem und das Objektivsystem gebildeten optischen Systems ausfüllen. Die Teilbündel können nach Polarisationszustand mittels z.B. zweier Teilpolarisatoren mit verschiedenen Polarisationsrichtungen oder mittels z.B. eines ungeteilten Polarisators und zweier sich daran anschliessender in einer Ebene angeordneter $\lambda/2$ -Platten mit verschiedenen Orientationen unterschieden werden, welche $\lambda/2$ -Platten zusammen einen ganzen Bündelquerschnitt in Anspruch nehmen. Jedes der Teilbündel wird von dem Objekt in ein Bündel nullter Ordnung und gebeugte Bündel gespalten. Das zweite Element kann z.B. aus zwei in einer Ebene liegenden $\lambda/2$ -Platten mit verschiedenen Orientationen bestehen, die derart in dem Bündelquerschnitt angeordnet sind, dass von jedem Teilbündel gebeugtes Licht durch eine andere $\lambda/2$ -Platte als das ungebeugte Licht hindurchgeht.

Der Hauptgedanke der vorliegenden Erfindung kann nicht nur beim Wiedergeben eines Phasenobjekts in differenzierter Form, sondern auch beim Wiedergeben dieses Phasenobjekts in undifferenzierter Form verwendet werden. Weiter kann die Erfindung beim Wiedergeben von Amplitudenobjekten in differenzierter sowie in undifferenzierter Form angewandt werden. Schliesslich können die Mikroskope nach der Erfindung vom Durchstrahlungs- sowie vom Reflexionstyp sein. Die endgültige Ausführung eines Mikroskops nach der Erfindung wird durch den besonderen

709808/0342

Zweck des betreffenden Mikroskops bestimmt.

Einige Ausführungsformen der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden im folgenden näher beschrieben. Es zeigen:

Figuren 1, 3, 6, 8, 10, 11 und 12 schematisch verschiedene Ausführungsformen eines Mikroskops nach der Erfindung, und

Figuren 2a, 2b, 4a, 4b, 5, 7a, 7b, 7c, 7d, 9a und 9b die Wirkungsweise dieser Ausführungsformen.

In den Figuren sind entsprechende Elemente mit den gleichen Bezugsziffern bezeichnet.

In Fig. 1 ist ein Durchstrahlungsmikroskop dargestellt. Das Beleuchtungssystem besteht aus einer Lichtquelle L, einer Feldlinse V und einem Kondensorsystem C, das der Einfachheit halber mit einer einzigen Linse angegeben ist. Das Beleuchtungssystem ist nur als Beispiel gegeben. Das Vorhandensein eines Kondensorsystems ist für die Erfindung nicht wesentlich. Das Kondensorsystem konzentriert das Licht auf ein Phasenobjekt P, das z.B. eine kosinusförmige Struktur in der x-Richtung aufweist. Das Phasenobjekt spaltet das Beleuchtungsbündel in ein Bündel nullter Ordnung, das ungebeugt das Objekt durchläuft, und in Bündel, die in unterschiedlichen Ordnungen gebeugt sind. In dem Lichtweg hinter dem Objekt ist ein Objektivsystem O angeordnet,

709808/0342

das der Einfachheit halber wieder mit einer einzigen Linse angegeben ist.

Ohne weitere Massnahmen würde in der Bildebene B des Phasenobjekts nichts beobachtet werden. Das Intensitätsmuster z.B., das durch Interferenz des Bündels nullter Ordnung mit dem Bündel der -1.Ordnung erhalten wird, würde dann nämlich das Intensitätsmuster, das durch Interferenz des Bündels nullter Ordnung mit dem Bündel +1.Ordnung erhalten wird, beseitigen.

Nach der Erfindung werden dem Mikroskop eine Anzahl zusätzlicher Elemente zum Sichtbarmachen einer Phasenstruktur hinzugefügt. Diese Elemente sind im rechten Teil der Fig. 1 in Draufsicht dargestellt. Die y-Richtung ist die Richtung senkrecht zu der Zeichnungsebene im linken Teil der Fig. 1.

- 1.Im linken Teil der Kondensorbrennebene wird ein erster Polarisator E und im rechten Teil dieser Ebene ein zweiter Polarisator F angeordnet. Die Polarisationsrichtungen 1 und 2 dieser Polarisatoren sind zueinander senkrecht.
- 2.Im linken sowie im rechten Teil der von dem Kondensorsystem und dem Objektivsystem mit der Kondensorbrennebene konjugierten Ebene, welche Ebene praktisch mit der hinteren Brennebene des Objektivsystems zusammenfällt, wird eine $\lambda/2$ -Platte angebracht. Die schnellen Richtungen

709808/0342

2634832

3 und 4 der Platten E' und F' schliessen Winkel von $\pm 22,5^\circ$ mit der Polarisationsrichtung 2 ein.

3. In der Nähe der Bildebene B ist ein Analysator A angebracht, dessen Durchlassrichtung 5 einstellbar ist. Die Polarisatoren E und F können statt genau in der Kondensorbrennebene auch in der Nähe dieser Ebene angeordnet sein. Die Abbildung der Polarisatoren fällt dann nicht mehr mit der hinteren Brennebene des Objektivsystems zusammen. Die Polarisationsrichtungen der Polarisatoren sind nur beispielsweise gegeben. Die Polarisatoren können auch andere Polarisationsrichtungen aufweisen, vorausgesetzt, dass diese Richtungen zueinander senkrecht sind.

Es sei ein Teilbündel 1 betrachtet, von dem in Fig. 1 nur der Hauptstrahl dargestellt ist, der von dem Polarisator E aus auf das Objekt einfällt. Dieses Bündel wird in u.a. ein Bündel nullter Ordnung l_0 und zwei Bündel der ersten Ordnung l_{-1} und l_{+1} gespalten. Die Bündel von Ordnungen höher als 1 werden der Uebersichtlichkeit halber ausser Betracht gelassen. Das Bündel l_0 durchläuft die $\lambda/2$ -Platte E'. Durch eine derartige Platte wird die Polarisationsrichtung des durch sie hindurchgehenden Lichtes gespiegelt in bezug auf die schnelle Richtung der Platte. Wenn das Teilbündel l_{-1} durch die $\lambda/2$ -Platte F' hindurchgeht, wird die Polarisationsrichtung dieses Teilbündels auch spiegelbildlich dargestellt.

709808/0342

Nach Durchgang durch die $\lambda/2$ -Platten E' und F' weisen die elektrischen Vektoren der Schwingungen der Teilbündel l_0 und l_{-1} die in Fig. 2a dargestellte Form auf. In dieser Figur ist auch die Durchlassrichtung 5 des Analysators A gezeigt.

Von dem Bündel l' , das zu dem Bündel l symmetrisch ist und von dem Polarisator F aus auf das Objekt einfällt, geht das nullte Bündel l'_0 durch die $\lambda/2$ -Platte F' und das Bündel der +1.Ordnung l'_{+1} durch die $\lambda/2$ -Platte E' hindurch. Die elektrischen Vektoren der Teilbündel l'_0 und l'_{+1} nach Durchgang durch die $\lambda/2$ -Platten weisen die in Fig. 2b dargestellte Form auf.

Von den elektrischen Vektoren der Bündel l_0 und l_{-1} in Fig. 2a und der Bündel l'_0 und l'_{+1} in Fig. 2b werden nur die auf die Durchlassrichtung 5 des Analysators projizierten Komponenten durchgelassen. Die durchgelassenen Komponenten der Teilbündel l_0 und l_{-1} können miteinander interferieren, wodurch ein Intensitätsmuster in der Bildebene B erhalten wird. Dieses Intensitätsmuster ist sinusförmig mit als Argument $+kx$, wobei k die Raumfrequenz in der Abbildung darstellt. k wird durch $k = \frac{2\pi}{N \cdot p}$ gegeben, wobei p die Periode der Objektstruktur und N die Vergrößerung des Objektivsystems darstellt. Die miteinander interferierenden durchgelassenen Komponenten der Teilbündel l'_0 und l'_{+1} führen ein ebenfalls

709808/0342

sinusförmiges Intensitätsmuster herbei, dessen Argument nun aber $-kx$ ist. Das Teilbündel l'_{+1} wird ja unter einem negativen Winkel in bezug auf das Teilbündel l_{-1} gebeugt.

Aus den Fig. 2a und 2b ist ersichtlich, dass die Teilbündel l_0 und l'_0 gleiche Polarisationsrichtungen aufweisen. Die Polarisationsrichtungen der Teilbündel l_{-1} und l'_{+1} stehen senkrecht auf den letzteren Richtungen. Die letzteren Teilbündel haben eine verschiedene Doppelbrechung erfahren, was zur Folge hat, dass der Phasenunterschied zwischen l_0 und l_{-1} ungeändert bleibt, aber dass zwischen l'_0 und l'_{+1} dieser Unterschied sich um π geändert hat, was in den Fig. 2a und 2b dadurch angegeben ist, dass für l_{-1} und l'_{+1} entgegengesetzte Richtungen gewählt werden. Ferner haben, wie als bekannt vorausgesetzt werden kann, bei einem Phasenobjekt die beiden gebeugten Teilbündel der ersten Ordnung eine mittlere Phase, die um $\frac{\pi}{2}$ von der des Teilbündels nullter Ordnung verschieden ist. Wenn die Teilbündel l_0 und l'_0 durch $e^{i\omega t}$ bzw. $e^{i\omega' t}$ dargestellt werden, sind für ein reines Phasenobjekt die von dem Analysator durchgelassenen Komponenten:

von l_0 : $e^{i\omega t} \cdot \sin \varphi$

von l'_0 : $e^{i\omega' t} \sin \varphi$

von l_{-1} : $e^{i(\omega t + kx + \frac{\pi}{2})} \cdot \cos \varphi$ (1)

von l'_{+1} : $e^{i(\omega' t - kx + \pi/2 + \pi)} \cos \varphi$ (2),

wobei φ der Analysatorwinkel (siehe Fig. 2b) ist.

709808/0342

Die Intensitätsmuster, die sich aus der Interferenz der Teilbündel l_0 und l_{-1} und aus der Interferenz der Teilbündel l'_0 und l'_{+1} ergeben, weisen die gleiche Form auf, und zwar $\sin^2 \varphi + \sin \varphi \cos \varphi \sin kx$ und verstärken einander. Ohne Anwendung der Elemente D, F, E' und F' wären die Intensitätsmuster gegenphasig und würden sich ausgleichen. Ferner tritt für $kx = 0$ ein Minimum in den Intensitätsmustern auf, so dass das Intensitätsmuster in der Bildebene B die Ableitung nach x der Phasenstruktur des Objekts P ist.

Wenn das Objekt eine reine Amplitudenstruktur aufweisen würde, würde kein Phasenunterschied von $\pi/2$ Rad. zwischen den gebeugten und den nicht gebeugten Teilbündeln auftreten. Die Teilbündel l_{-1} und l'_{+1} könnten in diesem Falle durch:

$$l_{-1}: e^{i(\omega t + kx)} \quad (3)$$

$$l'_{+1}: e^{i(\omega' t - kx + \pi)} \quad (4)$$

dargestellt werden. Das Intensitätsmuster der Teilbündel l_0 und l_{-1} wäre dann zu dem der Teilbündel l'_0 und l'_{+1} gegenphasig. In dem Mikroskop nach Fig. 1 werden Amplitudenstrukturen also unterdrückt.

In diesem Mikroskop kann im Falle eines Phasenobjekts die Modulation des Gesamtintensitätsmusters in der Bildebene B und somit der Kontrast durch Änderung der Durchlassrichtung 5 eingestellt werden. Wie aus der

2634832

Gestalt des Intensitätsmusters hervorgeht, wird dadurch, dass der Winkel φ (vgl. Fig. 2a und 2b) verkleinert wird, die Modulationstiefe des Gesamtintensitätsmusters vergrössert.

In dem Mikroskop nach der Erfindung kann auch der sogenannte Raumfrequenzbereich des Phasenintensitäts-umwandlungsfaktors eingestellt werden. Dieser Umwandlungsfaktor ist das Verhältnis zwischen der Modulationstiefe des Intensitätsmusters in der Abbildung und der Modulationstiefe der Phasenstruktur des Objekts. Der Phasenintensitäts-umwandlungsfaktor ist der Gesamtintensität aller Bündel (1 und 1' in Fig. 1) proportional, für die sich die Situation ergibt, in der die ungebeugten Teilbündel und eines der gebeugten Teilbündel verschiedene $\lambda/2$ -Platten durchlaufen. Für kleine Raumfrequenzen in der Objektstruktur ist der Beugungswinkel gering, so dass der Phasenintensitätsumwandlungsfaktor klein ist. Für grosse Raumfrequenzen wird ein grosser Teil der Teilbündel ausserhalb der Pupille des Objektivsystems fallen. Es besteht ein Maximum für den Phasenintensitätsumwandlungsfaktor. Dieses Maximum wird durch die wirksame Apertur des Objektivsystems bestimmt. In der hinteren Brennebene des Objektivsystems kann eine einstellbare Blende D angebracht werden, die dann die wirksame Apertur des Objektivsystems bestimmt. Durch Aenderung des Durchmessers der Blende kann der Raumfrequenzbereich des Phasen-

709808/0342

intensivitätsumwandlungsfaktors eingestellt werden.

In dem Mikroskop nach Fig. 1 durchläuft jedes der Bündel 1 und 1' eine doppelbrechende Platte (E' , F'). Diese Platten werden nur für Licht einer bestimmten Wellenlänge exakt $\lambda/2$ -Platten sein. Bei Anwendung nicht-monochromatischen Lichtes ist die Wirkung des Mikroskops nicht mehr optimal. Eine zweite Ausführungsform des Mikroskops (siehe Fig. 3) weist diesen Nachteil in viel geringerem Masse auf. Der Strahlungsweg in dem Mikroskop nach Fig. 3 ist gleich dem im Mikroskop nach Fig. 1. Dieser Strahlungsweg ist daher in Fig. 3 nicht mehr dargestellt. In dem Mikroskop nach Fig. 3 ist in dem Lichtweg vor dem Kondensorsystem ein Polarisator K mit fester Polarisationsrichtung 8 und hinter dem Objektivsystem ein Analysator A mit einstellbarer Durchlassrichtung 5 angeordnet. In der Brennebene des Kondensorsystems sind zwei $\lambda/2$ -Platten G und H mit schnellen Richtungen 6 und 7 angebracht.

In den Fig. 4a und 4b sind die elektrischen Vektoren der Teilbündel 1_0 , 1_{-1} , $1'_0$ und $1'_{+1}$ nach Durchgang durch die $\lambda/2$ -Platten E' und F' dargestellt. Die Winkel zwischen den Vektoren der Teilbündel 1_0 , 1_{-1} , $1'_0$ und $1'_{+1}$ sind gleich denen in den Fig. 2a und 2b. Das Mikroskop nach Fig. 3 gibt, gleich wie das Mikroskop nach Fig. 1, ein Phasenobjekt in differenzierter Form wieder und

709808/0342

unterdrückt eine Amplitudenstruktur.

Die Teilbündel l_0 und l'_0 erfahren beim Durchlaufen der $\lambda/2$ -Platten eine Gesamtdoppelbrechung Null. Für die Teilbündel l_{-1} und l'_{+1} ist die Gesamtbrechung nicht Null, aber die beiden Platten zusammen haben in guter Annäherung eine achromatische Wirkung. Dies kann mit Hilfe der sogenannten Poincaréschen Kugel verdeutlicht werden. Wie von H. Poincaré in "Théorie Mathématique de la Lumière", Verl. George Carré, Paris 1892, Band 2, Kap.2, beschrieben ist, können auf einer Kugel alle Polarisationszustände durch Punkte dargestellt werden (vgl. Fig. 5). Ein derartiger Punkt q wird durch die Winkel 2χ und 2θ festgelegt, wobei $\theta = 0$ linear polarisiertem Licht entspricht, d.h., dass der Äquator alle linearen Polarisationszustände darstellt. Die Pole q_1 und q_2 (für die $\chi = 45^\circ$) stellen zirkular polarisiertes Licht dar. Die Wirkung doppelbrechender Elemente kann als eine Drehung um eine waagerechte Achse in der Äquatorialen Ebene gedacht werden. So kann der Durchgang durch die $\lambda/2$ -Platte H bzw. die $\lambda/2$ -Platte F' als eine Drehung über 180° um die Achse aa' bzw. um die Achse bb' gedacht werden. Wenn der Polarisationszustand des Bündels l durch den Punkt p_0 gegeben wird, wird im idealen Zustand, d.h. bei Anwendung der richtigen Lichtwellenlänge, das Teilbündel l_{-1} vor dem Durchgang durch die $\lambda/2$ -Platte F' den Polarisationszustand p_1 und nach

709808/0342

2634832

Durchgang durch diese Platte den Polarisationszustand p_2 aufweisen. Bei Anwendung einer anderen Lichtwellenlänge wird z.B. die Drehung um die Achse aa' etwas grösser (und zwar um einen kleinen Winkel $\Delta\vartheta$ grösser) als 180° sein; vgl. den Punkt p_1' in Fig. 5. Dann ist aber auch die Drehung um die Achse bb' um etwa einen kleinen Winkel $\Delta\vartheta$ grösser als 190° , so dass der Punkt p_2' in Annäherung erster Ordnung mit dem Punkt p_2 zusammenfällt.

In dem Mikroskop nach Fig. 3 kann, ohne dass die Wirkung überhaupt geändert wird, der Polarisator drehbar und der Analysator fest angeordnet werden.

Ogleich das Mikroskop nach Fig. 3 in erster Linie dazu entworfen ist, Phasenstrukturen in differenzierter Form wiederzugeben, kann es durch einen einfachen Eingriff für die differenzierte Wiedergabe von Amplitudenstrukturen geeignet gemacht werden. Dazu wird nach der Erfindung vor dem einstellbaren Analysator eine $\lambda/4$ -Platte M (in Fig. 3 gestrichelt dargestellt) angeordnet. Die schnelle Richtung dieser Platte fällt mit der x-Richtung zusammen.

Durch das Vorhandensein der $\lambda/4$ -Platte werden für eine Phasenstruktur die Ausdrücke 1) und 2) in:

$$\begin{aligned} I_{-1} &: e^{i(\omega t + kx)} \\ I_{+1}' &: e^{i(\omega' t - kx + \pi + \pi)} \end{aligned}$$

übergehen. Daraus folgt, dass eine Phasenstruktur in dem Mikroskop unterdrückt wird. Die Ausdrücke 3) und 4) für

709808/0342

eine Amplitudenstruktur gehen durch das Vorhandensein der $\lambda/4$ -Platte über in:

$$\begin{aligned} l_{-1} &: e^{i(\omega t + kx + \pi/2)} \\ l_{+1} &: e^{i(\omega t - kx + \pi/2 + \pi)}. \end{aligned}$$

Die Änderung in dem Interferenzmuster der Teilbündel l_0 und l_{-1} ist zu der im Interferenzmuster der Teilbündel l'_0 und l'_{+1} gleichphasig, so dass diese Muster sich gegenseitig verstärken. Weiter wird wegen des Faktors $e^{i\pi/2}$ die Amplitudenstruktur differenziert wiedergegeben werden.

Statt vor dem einstellbaren Analysator kann die $\lambda/4$ -Platte auch hinter dem Polarisator angeordnet werden, wenn dieser Polarisator einstellbar angeordnet ist und der Analysator eine feste Lage einnimmt.

In Fig. 6 ist eine Ausführungsform des Mikroskops nach der Erfindung dargestellt. Dieses Mikroskop unterscheidet sich von dem nach Fig. 3 darin, dass zwischen dem Polarisator K und den beiden $\lambda/2$ -Platten H und G zwei $\lambda/4$ -Platten N_1 und N_2 , die je eine halbe Pupillenhälfte ausfüllen, angebracht sind. Die schnellen Richtungen 9 und 10 der $\lambda/4$ -Platten sind parallel bzw. senkrecht zu der Durchlassrichtung 5 des Analysators, der fest angeordnet ist. Der Polarisator ist drehbar angeordnet. In Fig. 6 und in den folgenden Figuren sind das Kondensorsystem, das Objekt und das Objektivsystem nicht mehr dargestellt. Gleich wie in Fig. 3 sind diese zwischen den $\lambda/2$ -Platten G, H und den $\lambda/2$ -Platten F', E' angebracht.

709808/0342

Das nach der Richtung 8 polarisierte Bündel 1 (das von links einfällt,) und das Bündel 1' (das von rechts einfällt) kann man sich als zusammengesetzt aus einer in der x-Richtung polarisierten Komponente (1_x und $1'_x$) und einer in der y-Richtung polarisierten Komponente (1_y und $1'_y$) denken. Beim Durchlaufen der $\lambda/4$ -Platte N_1 wird das Bündel 1_x über $\lambda/2$ in bezug auf das Bündel 1_y verzögert, während das Bündel $1'_y$ über $\lambda/2$ in bezug auf das Bündel $1'_x$ verzögert wird. Die Bündel 1_x , 1_y , $1'_x$ und $1'_y$ durchlaufen die $\lambda/2$ -Platten G und H, das Kondensorsystem, das Objekt, das Objektivsystem und die $\lambda/2$ -Platten E' und F' auf gleiche Weise wie die Bündel 1 und 1' in Fig. 3. Aus den Bündeln 1_x und 1_y entstehen dabei die ungebeugten Bündel $1_{x,0}$ und $1_{y,0}$ und die in der -1. Ordnung gebeugten Bündel $1_{x,-1}$ und $1_{y,-1}$, während aus den Bündeln $1'_x$ und $1'_y$ die ungebeugten Teilbündel $1'_{x,0}$ und $1'_{y,0}$ und die in der +1. Ordnung gebeugten Teilbündel $1'_{x,+1}$ und $1'_{y,+1}$ erhalten werden. Die elektrischen Vektoren dieser Teilbündel sind in den Fig. 7a, 7b, 7c und 7d dargestellt. Wegen der gegebenen Durchlassrichtung 5 des Analysators werden in der Bildebene nur Interferenzen zwischen den Teilbündeln $1_{y,0}$ und $1_{x,-1}$ und zwischen den Teilbündeln $1'_{y,0}$ und $1'_{x,+1}$ auftreten. Dabei eilt das Teilbündel $1_{x,-1}$ um $\lambda/2$ in der Phase gegenüber dem Teilbündel $1_{y,0}$ nach und eilt das Teilbündel $1'_{y,0}$ auch um $\lambda/2$ in der Phase gegenüber dem

709808/0342

Teilbündel $l'_{x,+1}$ nach. In der verwendeten Notation können, falls das Objekt eine Phasenstruktur aufweist, die Teilbündel durch:

$$\begin{aligned} l_{y,0} &: e^{i(\omega t + \pi/2)} \\ l_{x,-1} &: e^{i(\omega t + kx + \pi/2)} \\ l'_{y,0} &: e^{i\omega t} \\ l'_{x,+1} &: e^{i(\omega t - kx + \pi/2 + \pi/2 + \pi)} \end{aligned}$$

dargestellt werden. Daraus kann direkt abgeleitet werden, dass die Änderungen in den Interferenzmustern gleichphasig sind und dass eine Phasenstruktur undifferenziert wiedergegeben wird. Hätte das Objekt eine Amplitudenstruktur, so würde in den Ausdrücken für $l_{x,-1}$ und $l'_{x,+1}$ ein Faktor $\pi/2$ entfallen und würden sich die Intensitätsmuster ausgleichen.

In dem Mikroskop nach Fig. 6 kann auch der Polarisator mit der Polarisationsrichtung längs der x-Achse fest und der Analysator drehbar angeordnet werden, wie im rechten Teil der Fig. 6 gestrichelt angedeutet ist. Ein Bündel 1, das die $\lambda/4$ -Platte N_1 durchläuft, wird über $\pi/2$ in bezug auf das die $\lambda/4$ -Platte N_2 durchlaufende Bündel $1'$ verzögert. Die auf den Analysator einfallenden Teilbündel l_0 und l_{-1} , die aus dem Bündel erhalten werden, und die Teilbündel l'_0 und l'_{+1} , die aus dem Bündel $1'$ erhalten werden, können, falls das Objekt eine Phasenstruktur aufweist, durch:

$$\begin{aligned} l_0 &: e^{i(\omega t - \pi/2)} \\ l_{-1} &: e^{i(\omega t + kx + \pi/2 - \pi/2)} \end{aligned}$$

709808/0342

./.

$$l'_0: e^{i(\omega' t)}$$

$$l'_{+1}: e^{i(\omega' t - kx + \pi/2 + \pi)}$$

dargestellt werden.

Die Änderung im Interferenzmuster der Teilbündel l_0 und l_{-1} ist zu der im Interferenzmuster der Teilbündel l'_0 und l'_{+1} gleichphasig und eine Phasenstruktur wird differenziert wiedergegeben. Für eine Amplitudenstruktur wären die Änderungen in den Interferenzmustern gegenphasig, so dass eine Amplitudenstruktur unterdrückt wird.

In Fig. 8 ist eine Weiterbildung eines Mikroskops nach der Erfindung dargestellt. Dieses Mikroskop unterscheidet sich darin von dem nach Fig. 6, dass statt zweier $\lambda/4$ -Platten N_1 und N_2 eine einzige, nur eine Pupillenhälfte ausfüllende $\lambda/2$ -Platte R mit der schnellen Richtung 11 parallel zu der x-Achse angebracht ist. Ein von links einfallendes Bündel 1 erfährt eine zusätzliche Drehung der Polarisationsrichtung in bezug auf ein von rechts eintretendes Bündel l' . Die Bündel 1 und l' werden weiter auf gleiche Weise wie in Fig. 3 beeinflusst. In Fig. 9a bzw. 9b sind die elektrischen Vektoren der Teilbündel l_0 und l_{-1} bzw. der Teilbündel l'_0 und l'_{+1} angegeben. Der Winkel ϕ gibt die Orientation des Polarisationszustandes der eintretenden Bündel 1 und l' an.

Auf gleiche Weise wie für die Fig. 2a, 2b, 7a, 7b, 7c und 7d angegeben ist, können wieder Gleichungen

709808/0342

für die Teilbündel l_0 , l_{-1} , l_0' und l_{+1}' aufgesetzt werden. Aus diesen Gleichungen folgt, dass eine Amplitudenstruktur undifferenziert wiedergegeben wird, während eine Phasenstruktur unterdrückt wird.

In den bisher beschriebenen Mikroskopanordnungen bedecken die $\lambda/2$ -Platten oder die $\lambda/4$ -Platten mit verschiedenen schnellen Richtungen die linke oder die rechte Pupillenhälfte, so dass diese Anordnungen anisotrop sind. Falls Phasen- oder Amplitudenstrukturen undifferenziert wiedergegeben werden sollen, kann nach der Erfindung die Kontrastübertragung dadurch isotrop gemacht werden, dass die $\lambda/4$ -Platten oder $\lambda/2$ -Platten kreisförmig gestaltet werden. In Fig. 10 ist eine isotrope Ausführung des Mikroskops nach Fig. 8 dargestellt.

In Fig. 11 ist ein Mikroskop nach der Erfindung gezeigt, mit dem eine Amplitudenstruktur differenziert wiedergegeben werden kann. Dieses Mikroskop ist für die ungebeugten Teilbündel wohl, für die gebeugten Teilbündel jedoch nicht achromatisch.

Dieses Mikroskop enthält einen Polarisator K mit einer festen Polarisationsrichtung 8, zwei $\lambda/4$ -Platten S_1 und S_2 mit schnellen Richtungen 12 und 13, zwei weitere $\lambda/4$ -Platten S_1' und S_2' mit schnellen Richtungen 14 und 15 und einen Analysator A mit einer einstellbaren Durchlassrichtung 5. Das Kondensorsystem, das Objekt und das Objektiv-

709808/0342

31.5.76.

- 20 -

2634832

system müssen als in dieser Reihenfolge zwischen den $\lambda/4$ -Platten S_1 und S_2 und den $\lambda/4$ -Platten S_1' und S_2' angeordnet gedacht werden.

Das aus einem von links einfallenden Bündel 1 vom Objekt gebildete Teilbündel l_0 durchläuft nacheinander zwei $\lambda/4$ -Platten S_1 und S_1' mit zueinander parallelen schnellen Richtungen. Dieses Bündel erfährt eine Gesamtphasenverzögerung von $\pi/2$. Ähnliches gilt für das Teilbündel nullter Ordnung l_0' das vom Objekt aus dem von rechts einfallenden Bündel l' gebildet wird. Ein Teilbündel der -1. Ordnung l_{-1} durchläuft die $\lambda/4$ -Platten S_1 und S_2' mit den gleichen schnellen Richtungen, was dem Durchlaufen einer einzigen $\lambda/2$ -Platte entspricht. Auch ein Teilbündel der +1. Ordnung l_{+1}' durchläuft effektiv eine einzige $\lambda/2$ -Platte, und zwar die in Reihe angeordneten Platten S_2 und S_1' . Die Polarisationsrichtungen der Teilbündel l_{-1} bzw. l_{+1}' verhalten sich spiegelbildlich zu den Richtungen 12, 14 bzw. den Richtungen 13, 15. Mit der Annahme, dass die Teilbündel l_0 und l_0' durch $\dots e^{i\omega t}$ (bzw. $e^{i\omega' t}$) dargestellt werden können, werden im Falle einer Amplitudenstruktur die Teilbündel l_{-1} und l_{+1}' durch:

$$l_{-1}: e^{i(\omega t + kx + \pi/2)}$$

$$l_{+1}': e^{i(\omega' t - kx + \pi/2 + \pi)}$$

dargestellt werden können. Die Änderungen in den Interferenzmustern des Teilbündels l_0 und l_{-1} sind zu denen im

709808/0342

2634832

Interferenzmuster von l_0' und l_{+1}' gleichphasig. Ferner weisen die Interferenzmuster ein Maximum für $kx = -\pi/2$ auf, so dass eine Amplitudenstruktur differenziert wiedergegeben wird.

Das Mikroskop nach Fig. 11 ähnelt stark dem nach Fig. 3. Das Mikroskop nach Fig. 11 kann auf gleiche Weise abgewandelt werden wie für das Mikroskop nach Fig. 3 in den Fig. 6, 8 und 10 dargestellt ist.

So wird, wenn im Mikroskop nach Fig. 11 zwischen dem Polarisator und den $\lambda/4$ -Platten S_1 und S_2 zwei zusätzliche $\lambda/4$ -Platten mit schnellen Richtungen parallel bzw. senkrecht zu der x-Achse angebracht werden (vgl. Fig. 6 rechts), eine Amplitudenstruktur differenziert wiedergegeben werden.

Wird jedoch in der letzteren Anordnung der Polarisator einstellbar und der Analysator fest angeordnet, so wird eine Amplitudenstruktur undifferenziert wiedergegeben.

Es ist auch möglich, in dem Mikroskop nach Fig. 11 zwischen dem Polarisator und den $\lambda/4$ -Platten S_1 und S_2 eine eine Pupillenhälfte ausfüllende $\lambda/2$ -Platte mit einer schnellen Richtung parallel zu der x-Achse anzuordnen und den Polarisator und den Analysator fest anzubringen. Dann wird eine Phasenstruktur undifferenziert wiedergegeben.

709808/0342

Die Erfindung lässt sich nicht nur bei Mikroskopen, die mit hindurchfallendem Licht arbeiten, sondern auch bei mit auffallendem Licht arbeitenden Mikroskopen anwenden. In Fig. 12 wird dargestellt, wie die Anordnung nach Fig. 11 für auffallendes Licht geeignet gemacht werden kann.

In dieser Figur durchläuft ein von rechts einfallendes Bündel d einen Polarisator K mit fester Polarisationsrichtung δ . Dann wird das Bündel von einem halbdurchlässigen Spiegel BS zu dem Objekt P reflektiert. Dabei durchläuft das Bündel zwei $\lambda/4$ -Platten S_1 und S_2 und das Objektivsystem O . Nach Reflexion an dem Objekt durchlaufen die gebeugten und die ungebeugten Teilbündel wieder das Objektivsystem und die $\lambda/4$ -Platten $S_1^1 (=S_2)$ und $S_2^1 (=S_1)$. In der Nähe der Bildebene des Objektivsystems ist ein Analysator A drehbar angeordnet. Im rechten Teil der Fig. 12 sind die gegenseitigen Orientationen des Polarisators, des Analysators und der $\lambda/4$ -Platten angegeben. Die Teilbündel, die nicht vom Objekt gebeugt werden, durchlaufen auf ihrem Hin- und Rückweg zwei $\lambda/4$ -Platten mit zueinander parallelen schnellen Richtungen, während die wohl vom Objekt gebeugten Teilbündel auf dem Hin- und Rückweg zwei $\lambda/4$ -Platten mit denselben schnellen Richtungen durchlaufen, auf gleiche Weise wie in dem Mikroskop nach Fig. 11.

709808/0342

Das Mikroskop nach Fig. 12 kann auf gleiche Weise abgewandelt werden wie für das Mikroskop nach Fig. 11 beschrieben ist.

Eine etwaige Phasenanisotropie des halbdurchlässigen Spiegels BS kann dadurch ausgeglichen werden, dass eine zusätzliche doppelbrechende Platte U im Lichtweg angebracht wird. Ist der Polarisator fest angeordnet, so wird diese Platte zwischen dem halbdurchlässigen Spiegel BS und dem Analysator A angeordnet. Ist der Polarisator drehbar angeordnet, so muss die Platte U zwischen dem Polarisator und dem halbdurchlässigen Spiegel angeordnet werden.

Ein Vorteil der Anordnung nach Fig. 12 ist, dass Fehlreflexionen am Objektiv unschädlich sind. Gegebenenfalls vom Objektiv reflektierte Strahlung wird nämlich zwei $\lambda/4$ -Platten mit zueinander senkrechten schnellen Richtungen durchlaufen, während vom Objektiv gebeugte Teilbündel zwei $\lambda/4$ -Platten mit denselben schnellen Richtungen durchlaufen.

Statt $\lambda/4$ -Platten könnten im Mikroskop nach Fig. 12 auch $\lambda/2$ -Platten verwendet werden. Dann ist das Mikroskop aber nicht mehr achromatisch und können Fehlreflexionen am Objektiv die Wirkung beeinträchtigen.

31.5.76.

- 24 -

2634832

PATENTANSPRUECHE

(1.) Lichtmikroskop, das ein System zur Beleuchtung eines Objekts, ein Objektivsystem zur Abbildung des Objekts, einen Polarisator und einen dem Objektivsystem nachgeordneten Analysator enthält, wobei der Winkel zwischen der Polarisationsrichtung des Polarisators und der des Analysators einstellbar ist, wobei in diesem Mikroskop im Lichtweg vor dem Objekt ein in zwei Gebiete mit verschiedenen optischen Eigenschaften geteiltes erstes Element und im Lichtweg hinter dem Objektivsystem ein in zwei Gebiete mit verschiedenen optischen Eigenschaften geteiltes zweites Element vorhanden ist, wobei die gesonderten Gebiete des ersten Elements optisch mit den gesonderten Gebieten des zweiten Elements konjugiert sind, dadurch gekennzeichnet, dass jedes der Gebiete des zweiten Elements im Wege sowohl vom Objekt gebeugten Lichtes als auch ungebeugten Lichtes angeordnet ist.

2. Lichtmikroskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Gebiete des ersten und des zweiten Elements beidseitig einer Ebene liegen, die die optische Achse des Mikroskops enthält.

3. Lichtmikroskop nach Anspruch 1 zur Wiedergabe eines Objekts in undifferenzierter Form, dadurch gekennzeichnet, dass eines der Gebiete des ersten und des zweiten Elements kreisförmig ist, wobei der Mittelpunkt

709808/0342

dieses Kreises durch den Schnittpunkt der optischen Achse des Mikroskops mit dem betreffenden Element gebildet wird, und dass das andere Gebiet des ersten und des zweiten Elements die Form eines das erste Gebiet umgebenden Ringes aufweist.'

4. Lichtmikroskop nach Anspruch 1 oder 2 zur Beobachtung eines Phasenobjekts in Durchsicht, dadurch gekennzeichnet, dass der Polarisator aus zwei fest angeordneten Teilpolarisatoren mit zueinander parallelen Polarisationsrichtungen besteht, welche Teilpolarisatoren die Gebiete des ersten Elements bilden, und dass die Gebiete des zweiten Elements durch zwei $\lambda/2$ -Platten gebildet werden, deren schnelle Richtungen einen Winkel von 135° einschliessen.

5. Lichtmikroskop nach Anspruch 1 oder 2 zur Beobachtung eines Objekts in Durchsicht, dadurch gekennzeichnet, dass die Gebiete des ersten Elements durch zwei zwischen dem Polarisator und einem Kondensorsystem angebrachte erste $\lambda/2$ -Platten und die Gebiete des zweiten Elements durch zwei zwischen dem Objektivsystem und dem Analysator angeordnete weitere $\lambda/2$ -Platten gebildet werden, wobei die schnellen Richtungen von zwei mittels des Kondensorsystems und des Objektivsystems miteinander konjugierten $\lambda/2$ -Platten zueinander senkrecht sind.'

709808/0342

6. Lichtmikroskop nach Anspruch 5 zur Beobachtung eines Amplitudenobjekts in Durchsicht, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Lichtweg zwischen einem einstellbaren Polarisator und den zwei ersten $\lambda/2$ -Platten oder in dem Lichtweg zwischen den zwei weiteren $\lambda/2$ -Platten und einem einstellbaren Analysator eine die Pupille ausfüllende $\lambda/4$ -Platte angebracht ist, deren schnelle Richtung mit der Polarisationsrichtung des fest angeordneten Polarisators oder Analysators zusammenfällt.
7. Lichtmikroskop nach Anspruch 1 oder 2 zur Beobachtung eines Objekts in Durchsicht, dadurch gekennzeichnet, dass die Gebiete des ersten Elements durch zwei zwischen dem Polarisator und einem Kondensorsystem angebrachte erste $\lambda/4$ -Platten und die Gebiete des zweiten Elements durch zwei zwischen dem Objektivsystem und dem Analysator angeordnete weitere $\lambda/4$ -Platten gebildet werden, wobei die schnellen Richtungen von zwei mittels des Kondensorsystems und des Objektivsystems miteinander konjugierten $\lambda/4$ -Platten zueinander senkrecht sind, während diese Richtungen einen Winkel von 45° mit der Polarisationsrichtung des fest angeordneten Polarisators oder Analysators einschliessen.
8. Lichtmikroskop nach den Ansprüchen 3 und 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Polarisator und dem ersten in Gebiete geteilten Element zwei $\lambda/4$ -Platten

709808/0342

angebracht sind, deren schnelle Richtungen zueinander senkrecht sind, wobei eine der Richtungen mit der Polarisationsrichtung des fest angeordneten Polarisators oder Analysators zusammenfällt.

9. Lichtmikroskop nach Ansprüchen 3 und 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen einem einstellbaren Polarisator und dem ersten in zwei Gebiete geteilten Element eine die halbe Pupille des Mikroskops ausfüllende $\lambda/2$ -Platte angeordnet ist, deren schnelle Richtung zu der Durchlassrichtung des Analysators senkrecht ist.

10. Lichtmikroskop nach Anspruch 1, 2 oder 3 zur Beobachtung eines Objekts in Reflexion, wobei im Lichtweg zwischen dem Polarisator und dem Objektivsystem ein halbdurchlässiger Spiegel angeordnet ist, mit dessen Hilfe das Beleuchtungsbündel und das vom Objekt reflektierte Bündel voneinander getrennt werden, dadurch gekennzeichnet, dass die miteinander konjugierten Gebiete des ersten und des zweiten Elements zusammenfallen und zwischen dem halbdurchlässigen Spiegel und dem Objektivsystem angeordnet sind.

28
Leerseite

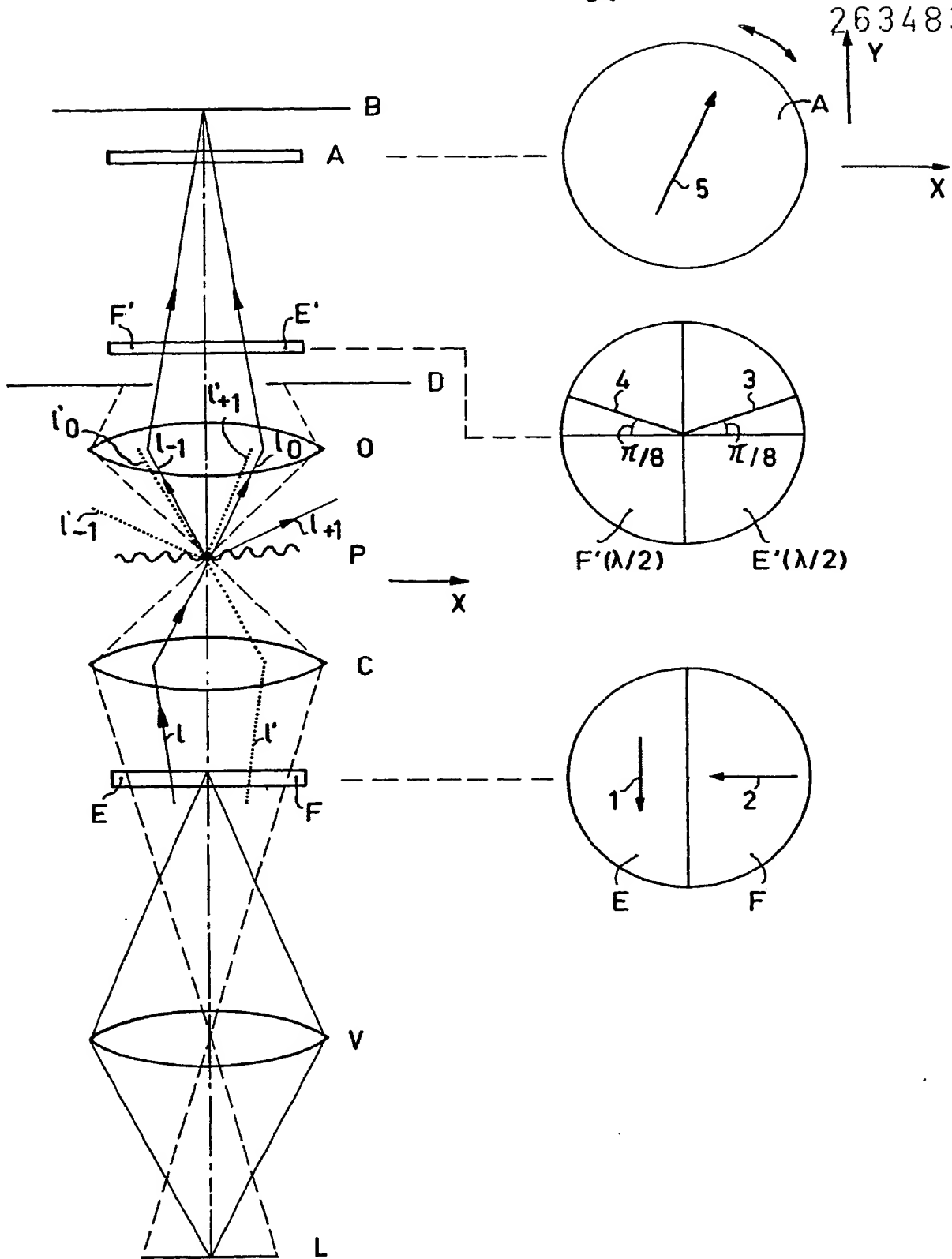


Fig. 1

709808/0342

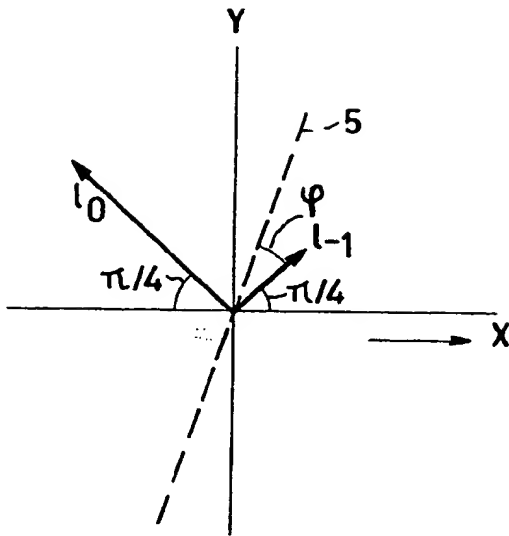


Fig. 2a

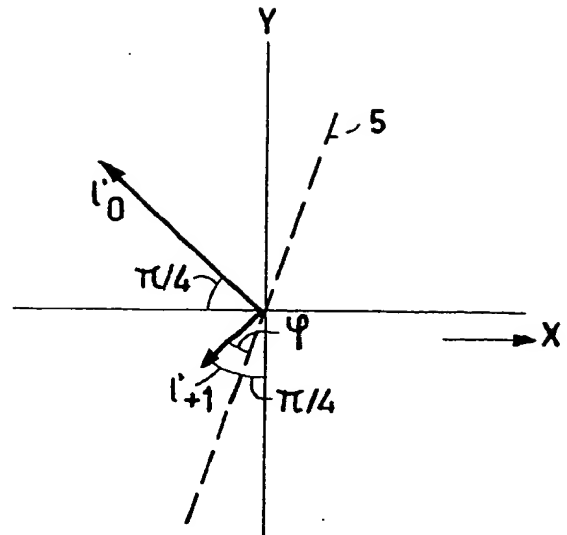


Fig. 2b

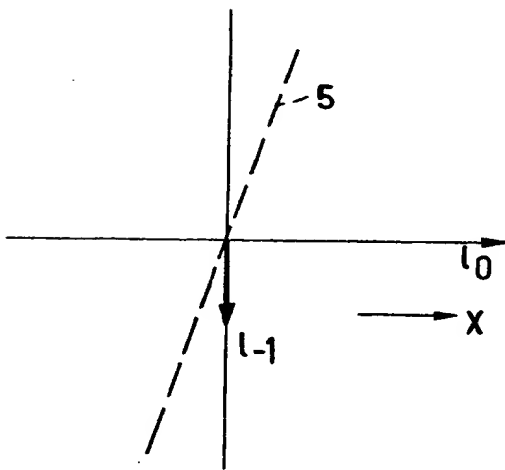


Fig. 4a

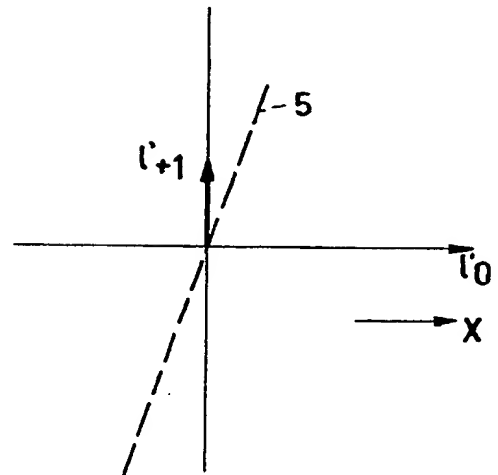


Fig. 4b

709808/0342

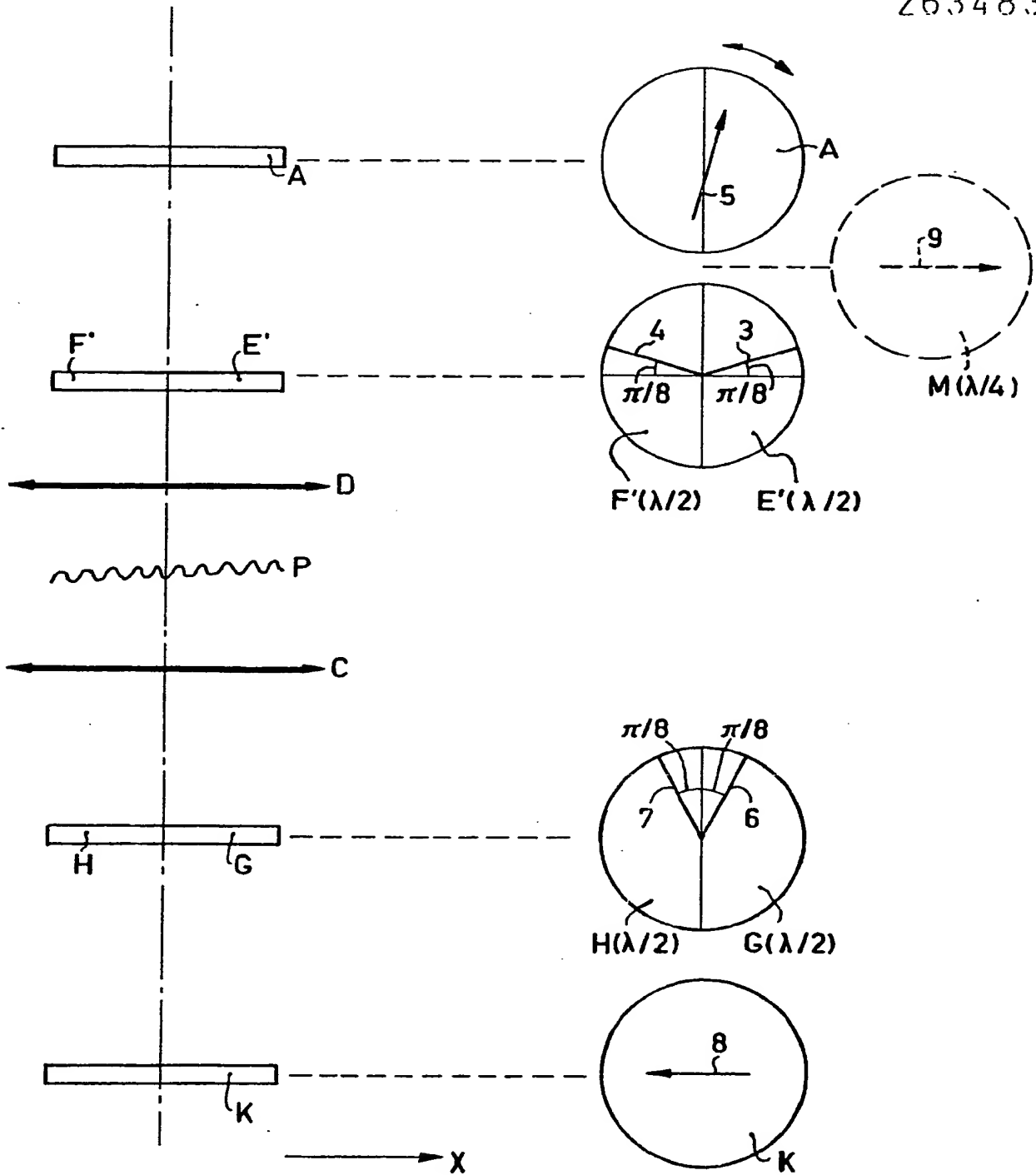


Fig. 3

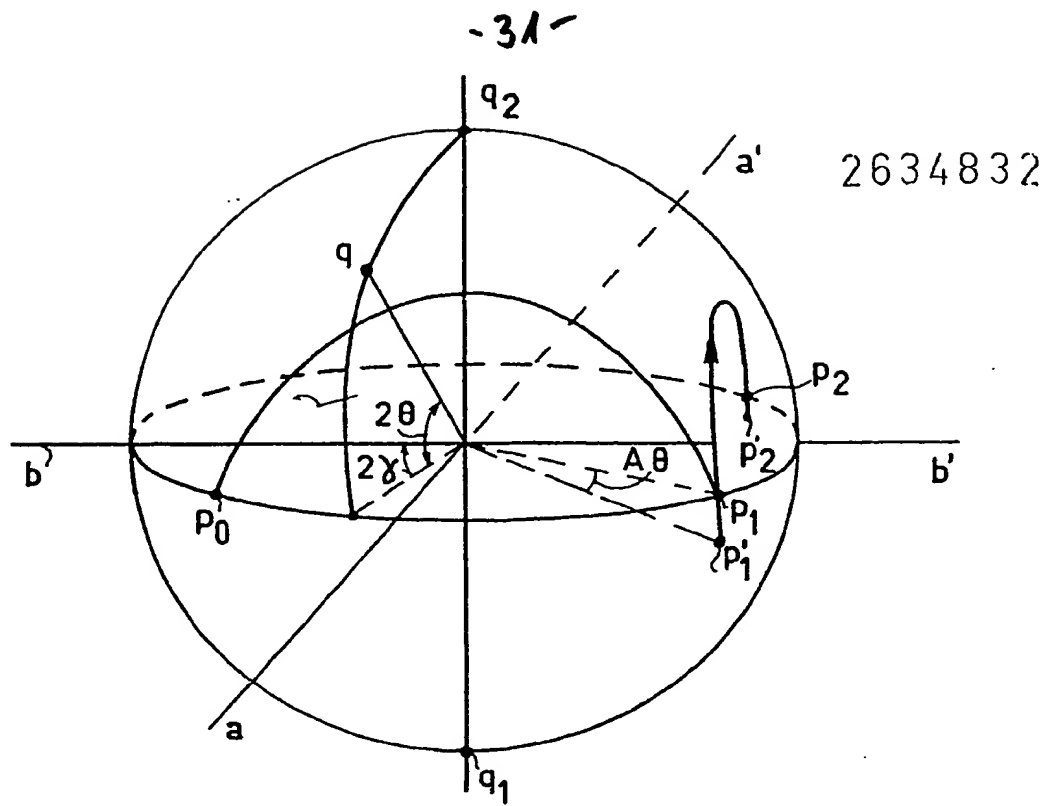
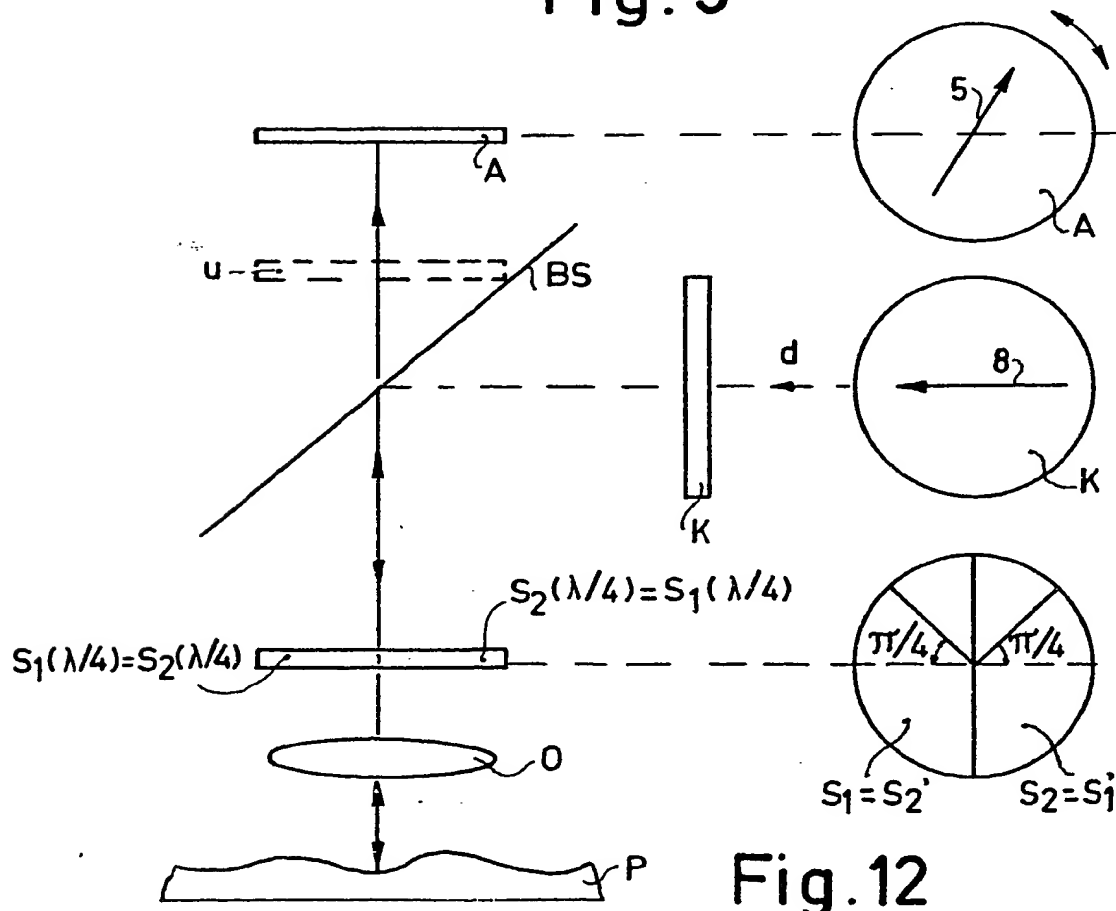


Fig. 5



709808/0342

2634832

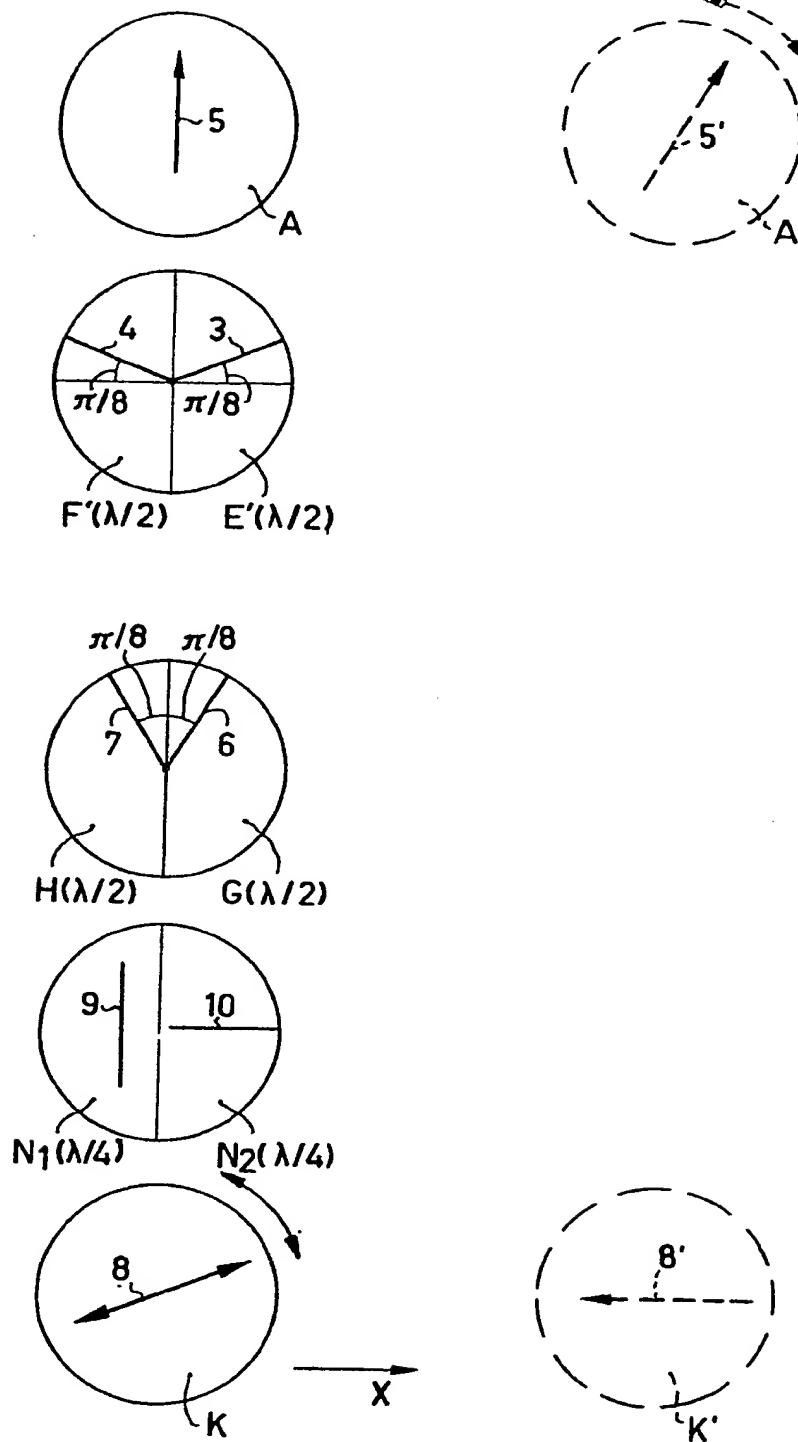


Fig. 6

709808/0342

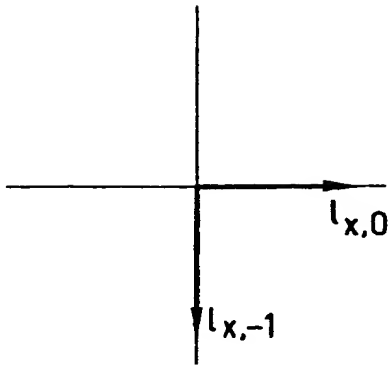


Fig. 7a

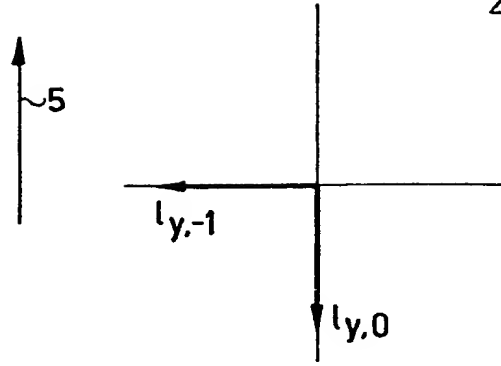


Fig. 7b

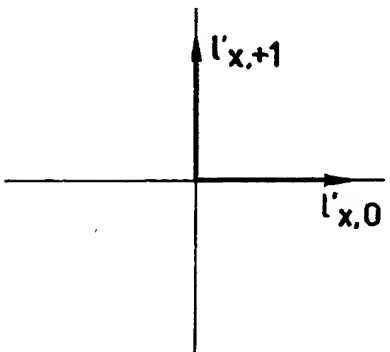


Fig. 7c

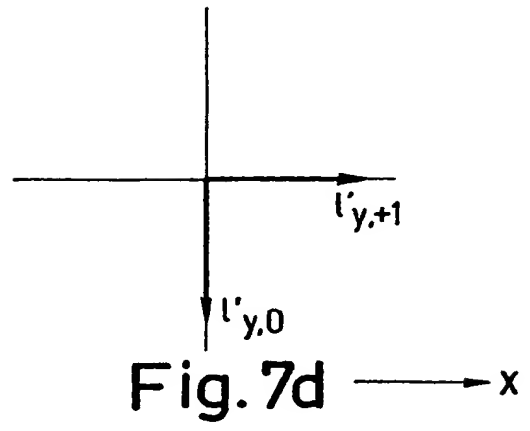


Fig. 7d

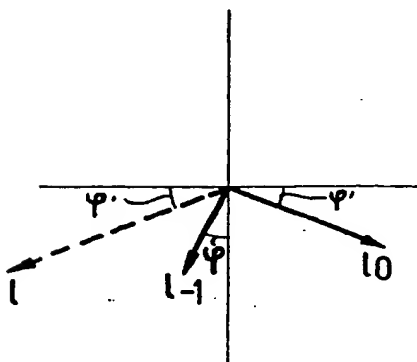


Fig. 9a

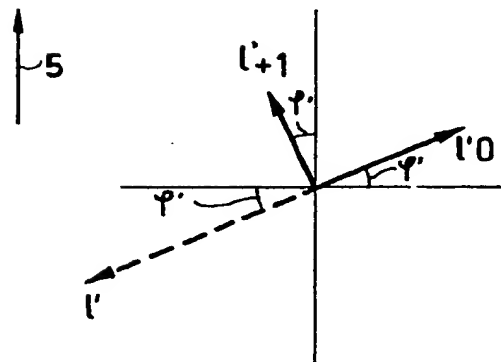


Fig. 9b

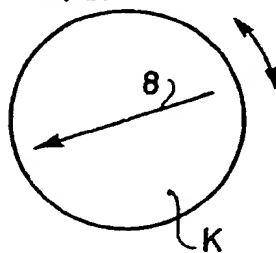
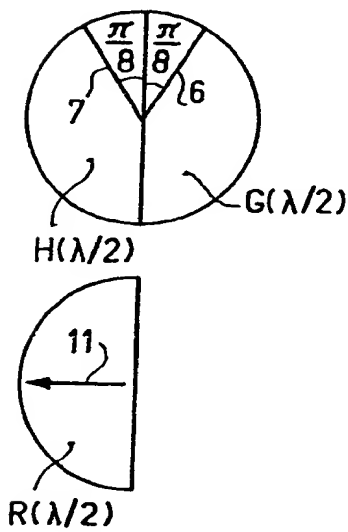
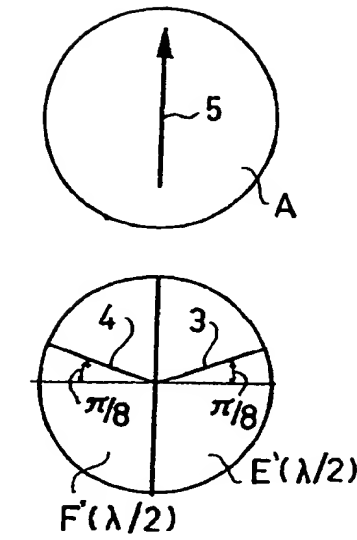


Fig. 8

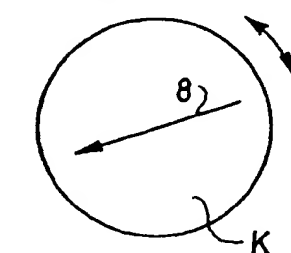
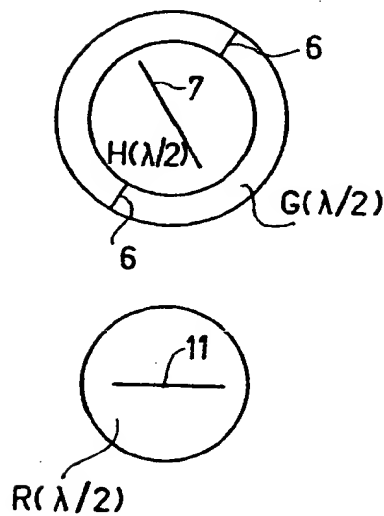
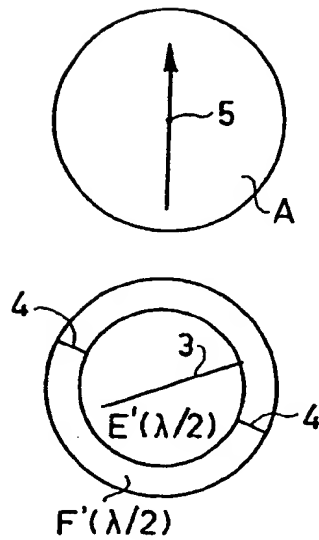


Fig. 10

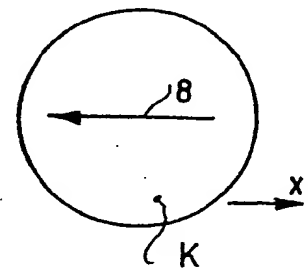
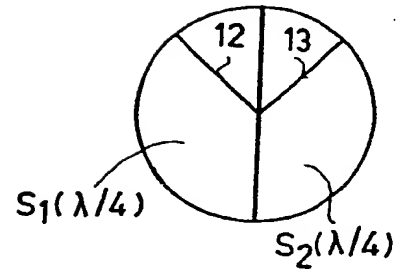
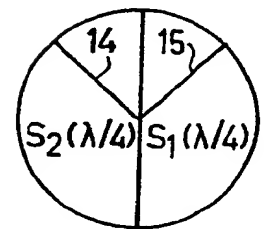
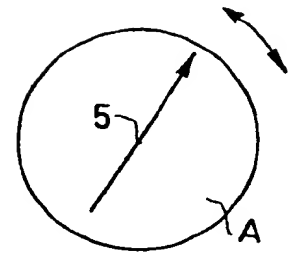


Fig. 11